

논문 2015-52-1-17

WCDMA 휴대전화 전자파가 인공심장 박동기 및 이식형 제세동기에 미치는 영향

(Effects of Radio Frequency Electromagnetic Fields Emitted by
WCDMA Mobile Phones on Pacemakers and ICDs)

정 재 원*, 최 수 범**, 박 지 수***, 김 덕 원****

(Jai Won Chung, Soo Beom Choi, Jee Soo Park, and Deok Won Kim[©])

요 약

제 2세대 (2G) 휴대전화인 GSM (global system for mobile communication) 휴대전화는 pacemaker 및 ICD (implantable cardioverter defibrillator)의 기능에 영향을 미칠 수 있다고 보고가 되어 왔다. 이에 본 연구에서는 제 3세대 (3G) 휴대전화인 WCDMA (wideband code division multiple access) 휴대전화에서 방출되는 전자파가 pacemaker 및 ICD에 미치는 영향에 대해 알아보았다. 총 5개의 pacemaker 및 3개의 ICD를 대상으로 ECG simulator를 이용한 in-vitro 실험으로 진행하였다. 실제 WCDMA 휴대전화 대신 WCDMA 모듈 (평균 출력 : 0.25 W, 주파수 대역 : 1950 MHz)을 사용했다. WCDMA 모듈 전자파가 pacemaker 및 ICD에 미치는 영향을 평가하기 위해, 각 이식형 의료기기들을 WCDMA 모듈에 최대한 근접 (3 mm 이내) 시킨 후 5분간 전자파에 노출 시켰다. 실험 결과 WCDMA 모듈 전자파가 5개의 pacemaker 및 3개의 ICD에 미친 어떠한 영향도 관찰 할 수 없었다. WCDMA 휴대전화는 GSM 휴대전화보다 더 높은 주파수 대역 (1800-2200 MHz)에서 더 낮은 출력 (0.01-0.25 W)을 방출하기 때문에, WCDMA 휴대전화에서 발생하는 전자파는 pacemaker 및 ICD 기기들에게 영향을 미치지 않을 것으로 사료된다.

Abstract

Reports show that global system for mobile communication (GSM) mobile phones, or two-generation (2G) mobile phones, could affect functions of pacemakers and implantable cardioverter defibrillators (ICDs). In this study, we evaluated the effects of radio frequency electromagnetic fields (RF-EMFs) emitted by wideband code division multiple access (WCDMA) mobile phones, which were third-generation (3G) mobile phones, on pacemakers and ICDs. Five pacemakers and three ICDs were subjected to in-vitro test using a ECG simulator. We used a WCDMA module (average power : 0.25 W, frequency band : 1950 MHz) instead of a real WCDMA mobile phone. To assess the effects of the WCDMA module on pacemakers and ICDs, each implantable device was placed in close proximity (within 3 mm) to the WCDMA module for 5 min. As a result, no effects were observed on the five pacemakers and three ICDs for the RF-EMFs emitted by the WCDMA module. Because WCDMA mobile phones have the higher frequency band (1800-2200 MHz) and lower power output (0.01-0.25 W) than GSM mobile phone, the RF-EMFs emitted by WCDMA mobile phones do not affect patients with pacemaker or ICD.

Keywords : WCDMA mobile phone, Pacemaker, Implantable Cardioverter Defibrillator, Malfunction

* 학생회원, 연세대학교 생체공학협동과정

(Graduate Program in Biomedical Engineering, Yonsei University)

** 학생회원, 연세대학교 의과대학 의학과(Brain Korea 21 PLUS Project for Medical Science, Yonsei University)

*** 학생회원, 연세대학교 의과대학 의학과(Department of Medicine, College of Medicine, Yonsei University)

**** 평생회원, 연세대학교 의과대학 의학교육교실

(Department of Medical Engineering, College of Medicine, Yonsei University)

© Corresponding Author (E-mail: kdw@yuhs.ac)

※ 본 연구는 2010년 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임 (NRF-2010-0022374)

접수일자: 2014년11월04일, 수정일자: 2014년12월26일, 게재확정: 2015년01월06일

I. 서 론

최근 대표적인 이식형 의료기기들인 pacemaker와 ICD (implantable cardioverter defibrillator)의 사용이 증가하고 있다. 미국에서 1993년부터 2008년까지 약 300만 개의 pacemaker와 약 100만 개의 ICD가 이식되었으며, 매년 약 5% 씩 이식되는 pacemaker 및 ICD의 수가 증가한 것으로 발표되었다^[1]. 국내에서도 2000년에 총 1120개의 pacemaker가 이식되었으나 2000년부터 2012년까지 매년 10% 이상 씩 이식 건수가 증가하여, 2012년에는 총 3484개의 pacemaker가 이식되었다^[2]. Pacemaker와 ICD의 경우 매우 작은 심장 고유의 전기적인 신호들을 감지하도록 설계되어 있어서, 휴대전화나 EAS (electronic article surveillance) 시스템 등의 다양한 기기들에서 발생하는 전자파에 의해 오동작을 일으킬 수 있다^[3]. 특히, pacemaker와 ICD는 심장에 문제가 있는 환자들을 대상으로 인체 내부에 이식되어 심장의 이상 유무를 진단하고 심장 박동에 도움을 주도록 개발된 의료기기들인 만큼, 전자파로 인해 pacemaker 또는 ICD에서 잘못된 전기적 자극이 방출되는 등의 오동작이 발생할 경우 심장 기능에 문제가 있는 환자들에게는 치명적인 위험이 될 수 있다.

제 2세대 (2G) 휴대전화인 GSM (global system for mobile communication) 휴대전화에서 발생하는 전자파가 pacemaker 및 ICD에 영향을 미친다는 연구 결과들은 이미 발표가 되어 왔다. 1995년 Barbaro 등은 2대의 GSM 휴대전화에서 발생하는 전자파가 총 101명의 pacemaker 환자 중 약 26%의 환자에게 영향을 미친 것을 관찰했으며^[4], 1997년 Altamura 등은 1대의 GSM 휴대전화에서 발생하는 전자파가 총 200명의 pacemaker 환자 중 약 22%의 환자에게 영향을 미친 것을 관찰했다^[5]. ICD의 경우, 2003년 Santomauro 등은 2대의 GSM 휴대전화에서 발생하는 전자파가 총 56명의 ICD 환자 중 약 11%의 환자에게 영향을 미친 것을 관찰했다^[6].

하지만, 최근 제 3세대 (3G) 휴대전화인 WCDMA (wideband code division multiple access) 휴대전화의 사용이 급격하게 증가함에 따라, WCDMA 휴대전화 전자파가 pacemaker 및 ICD에 미칠 수 있는 영향에 관한 관심이 고조되고 있다. 국내 스마트폰 가입자의 경우 2009년 말에는 80만 명 (전체 이동전화 가입자의 약

2%)에 불과했으나 2009년부터 2013년까지 연평균 162%의 높은 증가율을 기록하며, 2013년 말에는 3752만 명 (전체 이동전화 가입자의 약 69%)에 달할 정도로 빠르게 증가하고 있다^[7]. 그러나, WCDMA 휴대전화 전자파와 pacemaker 및 ICD와의 관계에 대하여 조사한 연구는 세계적으로 많지 않고, 특히 국내에서는 전무한 상황이다. 이에 본 연구에서는 WCDMA 휴대전화 전자파가 pacemaker 및 ICD에 미치는 영향을 알아보기 위하여 WCDMA 휴대전화를 모사한 WCDMA 모듈에서 발생하는 전기장의 세기를 측정하고, WCDMA 모듈 전자파가 pacemaker 및 ICD에 미치는 영향을 in-vitro 실험을 통해 알아보하고자 하였다.

II. 본 론

1. Pacemaker 및 ICD

본 연구에 총 5개의 pacemaker와 3개의 ICD가 실험에 사용되었으며, 사용된 기기들의 제조사는 모두 동일하다 (표 1). Pacemaker의 경우, 단일방 (single chamber)인 SSIR (single chamber pacing, single chamber sensing, inhibited by single chamber event, rate adaptive)형 pacemaker 1개, 이중방 (dual chamber)인 DDDR (dual chamber pacing, dual chamber sensing, dual function, rate adaptive)형 pacemaker 2개, 그리고 이중방인 DDD형 pacemaker 2개가 사용되었다. 모든 pacemaker들은 감지 배열 (sensing configuration)을 단극성 감지 (unipolar sensing) 또는 양극성 감지 (bipolar sensing)로 프로그램적으로 설정 할 수 있는 기기들이었다. ICD의 경우, 단일방인 VVIR (ventricular pacing, ventricular sensing, inhibited by ventricular event, rate adaptive)형 ICD 2개와 삼중방 (triple chamber)인 DDDR형 ICD 1개가 사용되었다.

2. WCDMA 모듈

WCDMA 휴대전화가 최대 출력인 0.25 W (24 dBm) 일 때 방출되는 전자파에 연속적으로 pacemaker 및 ICD를 노출 시켜보기 위해서, 시판되고 있는 스마트폰 대신 마이크로웨이브 (microwave)를 방출하는 Qualcomm chip (baseband: MSM6290, RF: RTR6285, Power Management: PM6658)이 내장된 WCDMA 모

표 1. Pacemaker 및 ICD 목록

Table 1. Characteristic of the pacemakers and ICDs.

이식형 의료기기	모델	방	종류
Pacemaker (1)	A	단일	SSIR
Pacemaker (2)	A	이중	DDDR
Pacemaker (3)	B	이중	DDD
Pacemaker (4)	B	이중	DDDR
Pacemaker (5)	C	이중	DDD
ICD (1)	D	단일	VVIR
ICD (2)	E	단일	VVIR
ICD (3)	F	삼중	DDDR

들을 사용하였다^[8]. 송신 주파수는 1950 MHz이며, E5515C Wireless Communication Test set (Agilent, Santa Clara, CA, USA)을 이용하여 평균 출력 세기를 측정 한 결과 0.25 W가 일정하게 출력되었다. 모듈은 5 m USB 케이블을 통해서 노트북 (X-Note R500, LG electronics, Korea)에 연결되어 작동하고, 케이블과 노트북 사이에 USB 타입의 전류계를 연결하였다. 노트북을 통해 모듈을 제어하고 전류 값을 확인하여 작동 상태를 체크하였다.

WCDMA 모듈에서 발생하는 전자파의 세기를 측정하기 위하여, 마이크로웨이브 대역의 전자파를 측정할 수 있는 전자파 측정기인 SRM-3000 (Narda GmbH, Germany)을 사용하였다. WCDMA 모듈로부터 0 cm인 위치에서부터 30 cm 떨어진 위치까지 5 cm 거리마다 전기장의 세기를 측정 하였다. 각 지점에서 6분간의 평균 전기장 세기를 측정 하였으며, 측정된 전기장 값들은 ICNIRP (International Commition Non-Ionizing Radiation Protection)의 일반인 전자파 노출 한계 기준치와 비교하였다.^[9] 추가로, 실험실 주변 환경에서 ELF (extremely low frequency) 대역의 3축 자기장 측정기인 EHP-50C (Narda-STs, Italy)를 사용하여 측정 한 주변 전기장 및 자기장 세기는 각각 1.8 ± 0.0 V/m와 0.02 ± 0.01 uT이었다. 또한 SRM-3000을 사용하여 1920-1980 MHz 대역을 측정 한 결과 0.05 ± 0.00 V/m의 전기장 세기가 측정되어 주변 전자파의 세기가 미약함을 확인하였다.

3. In-vitro 실험 환경 구축

그림 1은 WCDMA 모듈의 전자파가 pacemaker 및 ICD에 미치는 영향을 in-vitro로 실험하기 위하여 사용된 pacemaker (또는 ICD), ECG simulator (Heart

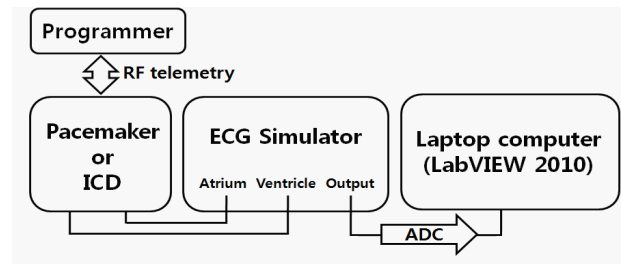


그림 1. In-vitro 실험을 위해 사용된 pacemaker (또는 ICD), ECG simulator, 노트북, 그리고 programmer간의 연결을 나타내는 블록 다이어그램

Fig. 1. Block diagram of connections between pacemaker (or ICD), ECG simulator, laptop computer, and programmer for the in-vitro study.

simulator Model 3550, St. Jude Medical, Inc., St. Paul, Minnesota, USA), 노트북, 그리고 programmer (Model 2090, Medtronic, Inc., Minneapolis, MN, USA)간의 연결을 나타낸다. ECG simulator는 실험 시 pacemaker나 ICD에 연결되어 실제 환자의 심장과 같은 역할을 하게 된다^[10]. ECG simulator는 atrium 채널과 ventricle 채널을 통해서 pacemaker 및 ICD에 환자의 심장 박동을 의미하는 전기적 신호들을 입력하고, 이로 인해 pacemaker 및 ICD에서 방출되는 전기 신호들을 다시 입력 받는다. ECG simulator의 output 채널에서는 pacemaker 또는 ICD의 전기적 자극에 의해 변화된 환자의 심장 박동을 의미하는 체표면 ECG 신호가 출력된다.

노트북 (DV6-1101TU, Hewlett-Packard, Palo Alto, CA)은 ECG simulator의 출력 파형을 실험 중 실시간으로 관찰 및 저장하기 위하여 사용되었다. 노트북은 ADC (analog-to-digital converter)인 NI-USB 6009 (National Instruments, Austin, TX)를 통해서 ECG simulator의 output 채널에 연결되었고, LabVIEW 2010 (National Instruments, Austin, TX)을 사용하여 ECG simulator의 출력 파형을 실시간으로 관찰 및 저장했다.

Programmer는 RF (radio frequency) 통신을 통해서 pacemaker나 ICD의 설정을 변경하고 저장된 정보들을 확인 할 수 있는 장비이다. Programmer를 사용하여 전자파 노출 전 실험 조건에 따라 pacemaker 및 ICD의 설정을 변경하였고, 전자파 노출 후 각 pacemaker 및 ICD에 저장된 정보들을 확인하여 전자파 노출에 따른 pacemaker 및 ICD의 오동작 여부를 확인 하였다.

4. 실험 방법

ECG simulator는 심박수만 변화 시켰으며, 그 외의 설정들은 모두 기본값으로 설정 하였다. Pacemaker는 주로 서맥이 있는 환자들에게 사용되는 기기 이므로, pacemaker 실험 시 ECG simulator의 심박수는 40 bpm (beat per minute)으로 설정 하였다. ICD는 주로 심실 빈맥이나 심실 세동과 같이 심장 박동이 갑자기 비정상적으로 빨라지는 부정맥 환자들을 대상으로 사용되는 기기 이므로, ICD 실험 시 ECG simulator의 심박수는 70 bpm으로 설정 하였다.

Pacemaker의 모드는 임상에서 많이 사용되는 모드들을 고려하여 단일방 pacemaker는 AAI (atrial pacing, atrial sensing, inhibited by atrial event)와 VVI 모드로, 이중방 pacemaker들은 AAI, VVI, DDD (또는 DDDR) 모드로 각각 설정하여 실험 하였다^[11]. Pacemaker는 심방 전위 감지 민감도 (sensitivity)가 높을수록 전자파에 영향을 받을 가능성이 높아지므로, pacemaker의 감지 민감도는 최대값으로 설정 하여 실험 하였다^[10]. 또한, pacemaker는 감지 배열이 단극성 감지인 경우 양극성 감지 일 때 보다 전자파에 의해 영향을 받을 가능성이 더 높다고 보고되어, 감지 배열은 단극성 감지 및 양극성 감지로 각각 설정하여 실험하였다^[3]. 그 외의 pacemaker의 설정들을 모두 기본값으로 설정하여 실험 하였다. ICD의 경우 심박동 조율 (pacing) 기능이 동작하며 심장의 신호 (또는 잡음)를 감지하는 동안 감지 민감도가 최대가 되며 전자파에 의해 영향을 받을 가능성이 커지므로, 실험 시 ICD의 심박동 조율 기능이 동작 하도록 심박동 조율의 최소 주기를 ECG simulator의 설정된 심박수인 70 bpm 보다 10 bpm 높은 80 bpm으로 설정하여 실험하였고, 이후 ICD의 심박동 조율 기능이 동작하지 않도록 심박동 조율의 최소 주기를 40 bpm으로 설정하여 실험을 반복 하였다^[12]. 그 외의 ICD의 설정들을 모두 기본값으로 설정하여 실험 하였다.

WCDMA 모듈의 전자파가 pacemaker 및 ICD에 미치는 영향을 평가하기 위해서 각 pacemaker 및 ICD를 WCDMA 모듈과 최대한 근접 (3 mm 이내) 시킨 후 5 분 동안 전자파에 노출 시켰으며, 만약 전자파에 의한 오동작이 관찰될 경우 WCDMA 모듈과 오동작이 관찰된 pacemaker 또는 ICD와의 거리를 1 cm씩 이격 시키며 오동작이 관찰되지 않을 때까지 실험을 반복했다.

WCDMA 모듈의 전자파가 pacemaker 및 ICD에 미치는 영향을 분석하기 위해서, 실험 후 LabVIEW 2010 을 이용하여 실험 중 저장된 ECG simulator의 출력 파형 (체표면 ECG 신호)에서 RR 간격과 pacemaker 또는 ICD에서 출력된 전기 신호들을 검출하여 설정한 조건대로 pacemaker 또는 ICD가 정상 동작하였는지 여부를 평가 하였다. 또한, programmer를 이용하여 pacemaker 및 ICD에 저장된 사건 히스토그램 (event histogram)과 심박수 히스토그램 (heart rate histogram)을 검토하였고, 각 기기의 설정에 변경이 있는지 확인했다.

III. 결 과

표 2는 WCDMA 모듈에서 발생하는 1950 MHz 대역의 전기장 세기를 측정한 결과이다. WCDMA 모듈을 기준으로 0 cm인 거리에서 최대 5.0 V/m의 전기장 세기가 측정 되었고, 이는 해당 주파수 대역에서의 ICNIRP의 인체보호 기준치인 61 V/m의 약 8 %에 해당하는 값이다^[9].

WCDMA 모듈 전자파가 pacemaker에 미치는 영향의 경우, 총 5개의 pacemaker를 최대 민감도로 설정한 후 AAI, VVI, DDD (또는 DDDR) 모드에서 단극성 및 양극성 감지로 각각 설정하여 5분간 WCDMA 모듈 전자파에 노출시킨 결과, 모든 pacemaker에서 전자파로 인한 어떠한 영향도 관찰할 수 없었다. 총 3개의 ICD 역시 심박동 조율 기능이 동작하고 있을 때와 동작하고 있지 않을 때에 각각 WCDMA 모듈 전자파에 5분간 노출시킨 결과, 모든 ICD에서 전자파로 인한 의한 어떠한 영향도 관찰 할 수 없었다.

표 2. WCDMA 모듈 (1950 MHz)의 전기장 세기
Table 2. Electric field strength of WCDMA module. (1950 MHz)

측정값	거리 (cm)						
	0	5	10	15	20	25	30
전기장 세기 (V/m)	5.0	3.7	2.4	1.7	1.1	1.0	0.9

IV. 결 론

본 연구에서는 국내 최초로 WCDMA 휴대전화 전자파가 pacemaker 및 ICD에 미치는 영향에 대하여 조사

하였다. 실제 상황에서 pacemaker 또는 ICD를 이식 받은 환자가 WCDMA 휴대전화 전자파에 노출되었을 경우, 휴대전화의 출력 상태나 각 이식형 의료기기들의 설정 조건에 따라서 WCDMA 휴대전화 전자파가 pacemaker 또는 ICD 환자에게 미치는 영향이 달라질 수 있다. 본 연구는 in-vitro 실험을 통해서 인체에 미치는 위험 없이 WCDMA 휴대전화 전자파가 pacemaker 및 ICD에 미치는 영향을 평가할 수 있었기 때문에, WCDMA 휴대전화가 최대 출력 (0.25 W) 일 때 방출되는 전자파를 연속적으로 발생시킬 수 있는 WCDMA 모듈을 사용하여 실험 하였다. 또한, 이전 관련 연구들에서 pacemaker의 경우 감지 민감도나 감지 배열의 설정에 따라서, ICD의 경우 심박동 조율 기능의 동작 유무에 따라서 전자파가 미치는 영향이 달라진다고 보고되어, 해당 설정 조건들로 pacemaker 및 ICD의 설정을 각각 변경하며 WCDMA 모듈 전자파에 노출시켜 보았다^[3, 10, 12]. 하지만, 본 연구에서는 WCDMA 모듈에서 발생하는 전자파가 총 5개의 pacemaker와 3개의 ICD에 미친 어떠한 영향도 관찰할 수 없었다. 이러한 결과는 GSM 휴대전화에서 발생하는 전자파가 pacemaker 및 ICD에 영향을 미친다고 보고된 이전 연구 결과들과는 다른 결과이다^[4~6].

제 3세대 휴대전화에서 발생하는 전자파가 pacemaker 및 ICD에 미치는 영향을 조사한 관련 연구로는, 2010년 Mohamed 등은 2대의 UMTS (universal mobile telecommunication system) 휴대전화에서 발생하는 전자파에 총 100명의 pacemaker 환자들을 노출시켰으나, UMTS 휴대전화 전자파가 pacemaker 환자들에게 미친 어떠한 영향도 관찰할 수 없었다^[13]. 이처럼, GSM 휴대전화와는 다르게 제 3세대 휴대전화들인 WCDMA 휴대전화와 UMTS 휴대전화에서 발생하는 전자파가 pacemaker 및 ICD에 영향을 미치지 않은 이유는, WCDMA (또는 UMTS) 휴대전화가 GSM 휴대전화에 비해 더 높은 주파수 대역에서 더 낮은 출력을 방출하기 때문이다^[13]. 일반적으로 GSM 휴대전화는 890-960 MHz의 주파수 대역에서 0.02-2.00 W의 출력 범위를 가지며, WCDMA (또는 UMTS) 휴대전화는 1800-1900 MHz의 주파수 대역에서 0.01-0.25 W의 출력 범위를 가진다^[14]. 따라서, 현재 사용이 급증하고 있는 WCDMA 휴대전화에서 발생하는 전자파는 pacemaker 및 ICD 환자들에게 영향을 미치지 않을 것

으로 사료된다. 추가로, 본 연구에서 WCDMA 휴대전화의 최대 출력인 0.25 W로 출력을 일정하게 설정한 WCDMA 모듈에서 발생하는 전기장의 세기를 측정해 본 결과, WCDMA 모듈과의 거리가 0 cm 일 때에도 ICNIRP의 인체보호 기준치의 약 8 %에 해당하는 5.0 V/m의 미약한 전기장 세기가 측정됨을 확인했다.

본 연구에서는 WCDMA 휴대전화 전자파가 pacemaker 및 ICD에 미치는 영향을 평가하기 위해서 총 5개의 pacemaker와 3개의 ICD를 대상으로 한 in-vitro 실험만을 진행했기 때문에, 더 다양한 pacemaker 및 ICD를 대상으로 한 추가적인 in-vitro 및 in-vivo 연구가 진행 되어야 한다. 국가에 따라 휴대전화의 통신 방식이 다른 것과 같이 국내와 해외의 전자파 환경이 다를 수 있다는 것을 고려하였을 때, 국내에서도 각종 전자파 발생원들이 pacemaker 및 ICD에 미치는 영향을 알아보는 다양한 연구들이 진행 되어야 한다. 하지만, 조사된 바로는 현재 국내에서는 2009년 심영우 등이 2 개의 EAS에서 발생하는 전자파 1개의 pacemaker 및 1개의 ICD에 미치는 영향을 알아본 연구 외에는 전자파가 pacemaker 및 ICD에 미치는 영향에 대하여 알아본 연구는 전무한 실정이다^[15]. 2009년 식품의약품안전청에서 발표한 휴대전화와 이식형 의료기기 장착부위의 거리를 약 22 cm 이상으로 유지 하라는 지침 역시, 2009년 일본 총무성이 제 2세대 휴대전화인 PDC (Personal Digital Cellular) 휴대전화에서 발생하는 전자파가 pacemaker에 미치는 영향에 대해 조사한 연구 결과를 토대로 발표한 지침을 바탕으로 하고 있다^[16~17]. 따라서, 본 연구 결과는 현재 국내에는 마련되어 있지 않은 pacemaker 및 ICD 환자를 위한 스마트폰 전자파에 대한 안전기준 마련과, pacemaker 및 ICD 환자들이 가지고 있는 스마트폰 전자파에 대한 불안감을 해소 시키는데 도움이 될 것으로 사료된다.

REFERENCES

- [1] A.J. Greenspon, J.D. Patel, E. Lau, J.A. Ochoa, D.R. Frisch, R.T. Ho, B.B. Pavri, and S.M. Kurtz, "16-year trends in the infection burden for pacemakers and implantable cardioverter-defibrillators in the United States 1993 to 2008," J. Am. Coll. Cardiol., vol. 58, no. 10, pp. 1001-1006, 2011.

- [2] T.H. Rho, "우리나라의 영구 심박동기 과거와 현재," *The Official Journal of Korean Heart Rhythm Society*, vol. 15, no. 3, pp. 24-30, 2014.
- [3] M.E. McIvor, J. Reddinger, E. Floden, R.C. Sheppard, D. Johnson, G.I. Becker, and M. Mayotte, "Study of pacemaker and implantable cardioverter defibrillator triggering by electronic article surveillance devices (SPICED TEAS)," *Pacing Clin. Electrophysiol.*, vol. 21, no. 10, pp. 1847-1861, 1998.
- [4] V. Barbaro, P. Bartolini, A. Donato, C. Militello, G. Altamura, F. Ammirati, and M. Santini, "Do European GSM mobile cellular phones pose a potential risk to pacemaker patients?," *Pacing Clin. Electrophysiol.*, vol. 18, no. 6, pp. 1218-1224, 1995.
- [5] G. Altamura, S. Toscano, G. Gentilucci, F. Ammirati, A. Castro, C. Pandozi, and M. Santini, "Influence of digital and analogue cellular telephones on implanted pacemakers," *Eur. Heart J.*, vol. 18, no. 10, pp. 1632-1641, 1997.
- [6] M. Santomauro, L. Ottaviano, D. Da Prato, A. Borrelli, and M. Chiariello, "New Advances in Heart Failure and Atrial Fibrillation," Springer Milan, pp. 139-149, 2003.
- [7] Korea Communications Commission, "Korea Communications Commission Annual Report 2013," 2014.
- [8] S.B. Choi, M.K. Kwon, J.W. Chung, J.S. Park, K. Chung, and D.W. Kim, "Effects of short-term radiation emitted by WCDMA mobile phones on teenagers and adults," *BMC Public Health*, vol. 14, no. 1, pp. 438, 2014.
- [9] International Commission in Non-Ionizing Radiation Protection, "Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic fields (Up to 300 GHz)," *Health Physics*, vol. 74, no. 4, pp. 494-522, 1998.
- [10] E.H. Lucas, D. Johnson, and B.P. McElroy, "The effects of electronic article surveillance systems on permanent cardiac pacemakers: an in vitro study," *Pacing Clin. Electrophysiol.*, vol. 17, no. 11, pp. 2021-2026, 1994.
- [11] A.D. Bernstein, J.C. Daubert, R.D. Fletcher, D.L. Hayes, B. Lüderitz, D.W. Reynolds, M.H. Schoenfeld, and R. Sutton, "The revised NASPE/BPEG generic code for antibradycardia, adaptive-rate, and multisite pacing. North American Society of Pacing and Electrophysiology/British Pacing and Electrophysiology Group," *Pacing Clin. Electrophysiol.*, vol. 25, no. 2, pp. 260-264, 2002.
- [12] W.J. Groh, S.A. Boschee, E.D. Engelstein, W.M. Miles, M.E. Burton, P.R. Foster, B.J. Crevey, and D.P. Zipes, "Interactions between electronic article surveillance systems and implantable cardioverter-defibrillators," *Circulation*, vol. 100, no. 4, pp. 387-392, 1999.
- [13] M.M. Ismail, A. Badreldin, M. Heldwein, and K. Hekmat, "Third Generation Mobile Phones (UMTS) Do Not Interfere with Permanent Implanted Pacemakers," *Pacing Clin. Electrophysiol.*, vol. 33, no. 7, pp. 860-864, 2010.
- [14] K. Hekmat, B. Salemink, G. Lauterbach, R.H. Schwinger, M. Südkamp, H.J. Weber, U. Mehlhorn, "Interference by cellular phones with permanent implanted pacemakers: an update," *Europace*, vol. 6, no. 4, pp. 363-369, 2004.
- [15] Y.W. Shim, J.J. Kim, D.I. Yang, M.H. Lee, and D.W. Kim, "Effects of EAS Systems on Pacemakers and ICDs Malfunction," *Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers*, vol. 46, no. 6, pp. 44-49, 2009.
- [16] Korea Food and Drug Administration, "Dear Healthcare Professional Letter," 2009.
- [17] Y. Tarusawa, T. Nojima, and T. Toyoshima, "In-vitro experiments to estimate the impact of EMI from cellular phone and base-station antennas on implantable cardiac pacemakers," *IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, pp. 931-936, Minneapolis, Minnesota, 2002.

— 저 자 소 개 —



정 재 원(학생회원)
2013년 연세대학교 의용전자
공학과 학사 졸업
2013년~현재 연세대학교 대학원
생체공학협동과정
석사과정 재학 중

<주관심분야 : 생체계측, 생체의료정보 등>



최 수 범(학생회원)
2008년 연세대학교 의용전자
공학과 학사 졸업
2013년~현재 연세대학교
의과대학 의과학과
석사과정 재학 중

<주관심분야 : 생체의료정보, 의료기기 등>



박 지 수(학생회원)
2012년 한국과학기술원 생명과학
학사 졸업
2012년~현재 연세대학교
의과대학 의학전문대학원
석사과정 재학 중

<주관심분야 : 생체의료정보, 부정맥 등>



김 덕 원(평생회원)-교신저자
1976년 서울대학교 공과대학
공학사 졸업
1980년 미국 Northwestern
University 전자공학 석사
졸업
1986년 미국 Univ. of Texas at
Austin 의공학 박사 졸업
1999년~2005년 연세의대 의학공학교실 주임교수
2008년 대한전자공학회 부회장 및 제어 및
시스템 소사이어티 회장
1987년~현재 연세대학교 의과대학 의학공학교실
조교수, 부교수, 교수
<주관심분야: 생체의료정보, 비관혈적 생체계측,
전자파 유해성 등>